



European Bank
for Reconstruction and Development



Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

ТЕО проєктів з виробництва біогазу / біометану

Кучерук П.П.

Біоенергетична асоціація України
член Експертної ради, к.т.н.

22/05/2024



Зміст

01 На які питання відповідає ТЕО?

02 Концепції проєктів

03 Типові CAPEX та OPEX

04 Приклади ТЕО





На які питання відповідає техніко-економічне обґрунтування?

Технічна доцільність

- Яка сировина (субстрати) та якої якості доступна для виробництва біометану?
- Яка технологія переробки сировини є найбільш прийнятною (продуктивність, матеріальні баланси, ...)?
- Якими будуть обсяги та характеристики основних продуктів (біогаз, біометан) і побічних продуктів (дигестат, вуглекислий газ...)?
- Які норми та стандарти стосуються основного продукту, побічних продуктів, сфери їх використання?
- Як забезпечуватимуться потреби біометанового заводу в енергії (приєднане навантаження, енергетичні баланси...)?
- Які технічні умови приєднання до мереж (електромережа, ГТС/ГРС)?
- Які критерії доцільності та обмеження при виборі місця будівництва?

Економічна доцільність (1)

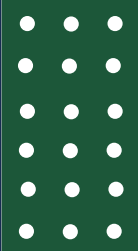
- Які інвестиції потрібні для реалізації проєкту?
- Скільки власних коштів необхідно залучити в проєкт?
- Які умови залучення зовнішнього фінансування (кредитні умови)?
- Які доступні схеми підтримки та які умови участі?
- Яка вартість постачання сировини, чи є конкуренція за сировину?
- Чи відноситься сировина до сталих відповідно до REDII (REDIII)?
- Які ціни та умови постачання енергії та енергоресурсів до заводу?
- Які операційні витрати (сировина, логістика, технічне обслуговування, запасні частини, заробітна плата...)?

Економічна доцільність (2)

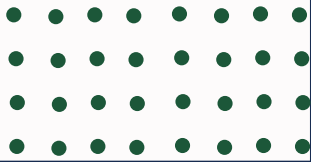
- В якому сегменті ринку буде використовуватись біометан (транспортне паливо, опалення, промисловість)?
- Які потенційні обсяги продажів у різних сегментах?
- Яка структура ціноутворення діє на ринку?
- Хто потенційні клієнти і скільки їх?
- Можливі схеми реалізації біометану і побічних продуктів технології?
- Який потенційний дохід від різних продуктів?
- Які очікувані фінансові показники інвестиційного проєкту (IRR, NPV, дисконтований термін окупності, ...)?

Оцінка ризиків проєкту

- Які основні ризики пов'язані з діяльністю проєкту – гарантоване постачання сировини, можливі перебої з постачанням електроенергії, дефіцит витратних матеріалів, зміна тарифів на енергію та енергоресурси, зміна цін на продукцію...?
- Які стратегії запобігання та мінімізації для кожного з вищезазначених ризиків?
- Якою буде чутливість прибутку в залежності від кожного з факторів ризику?

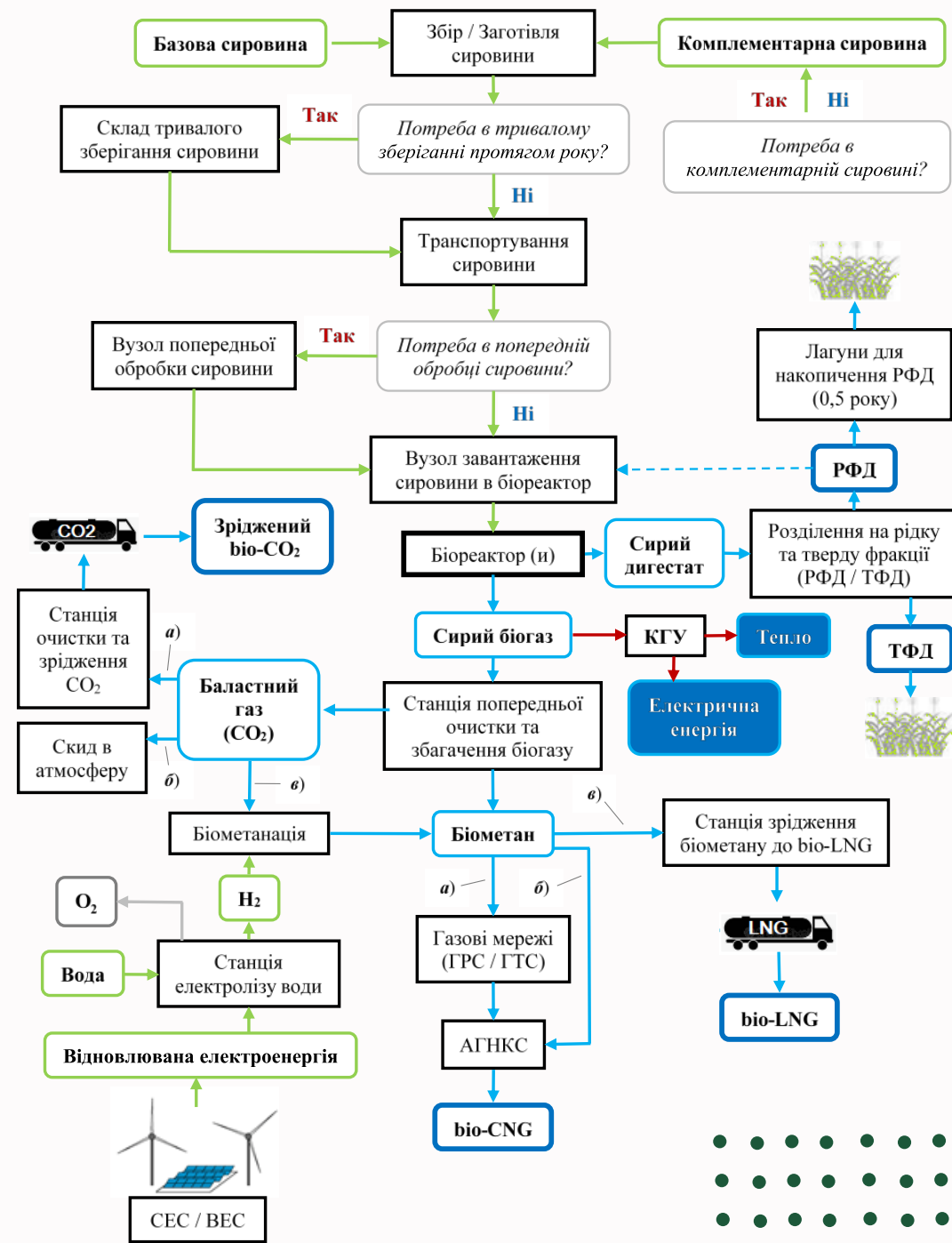


Концепції проєктів



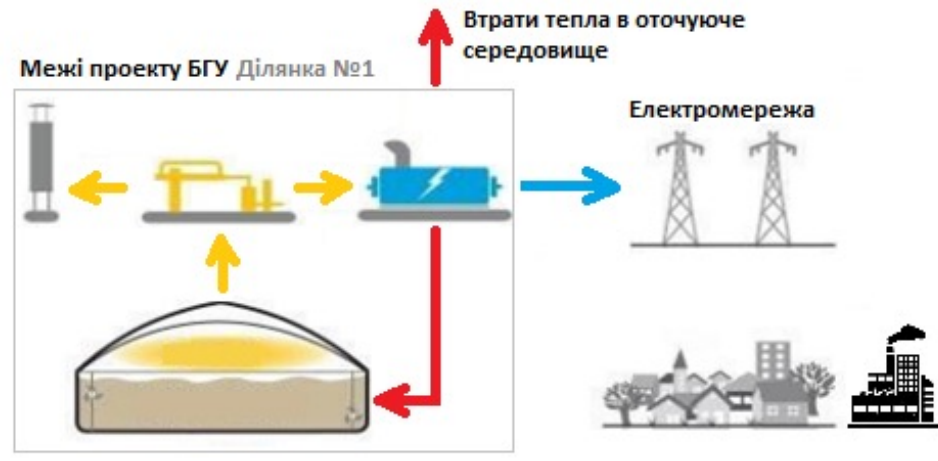
Основні концепції проєктів виробництва відновлюваного метану

- **Концепція 1**
Біометан та/або е/е з біогазу БГУ
- **Концепція 2**
Біометан з біогазу полігонів ТПВ
- **Концепція 3**
е-Біометан з відновлюваних H_2 та CO_2
- **Концепція 4**
Синтетичний біометан отриманий шляхом термогазифікації твердої або рідкої біомаси
- **Концепція 5**
Біометан з біогазу “темного бродіння” (H_2 , CH_4)

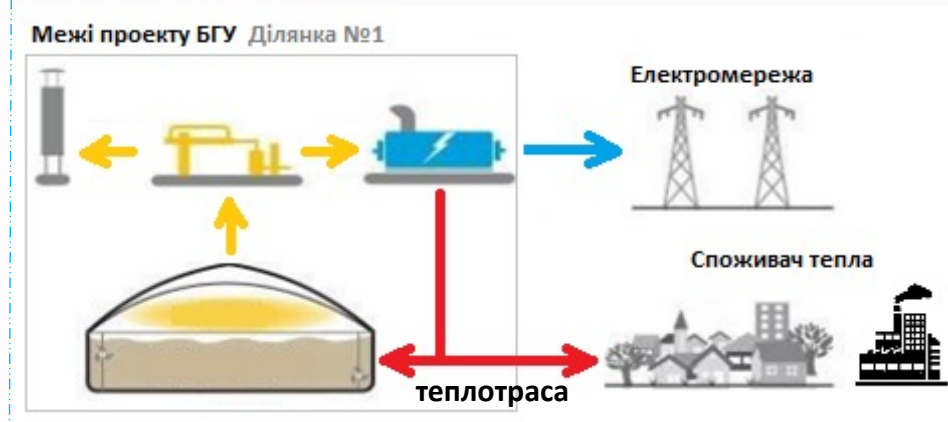


Можливі концепції комбінованого виробництва тепла та електричної енергії з біогазу

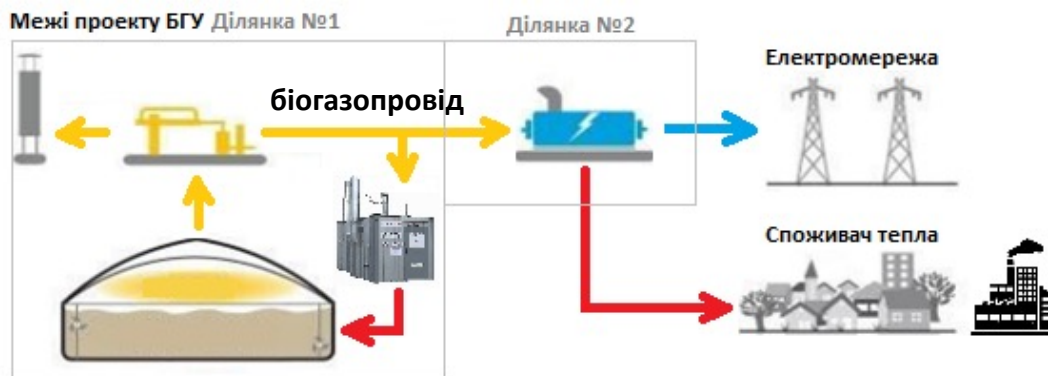
Електроенергія в мережу



Е/е в мережу + тепло споживачеві вар. 1



Е/е в мережу + тепло споживачеві вар. 2

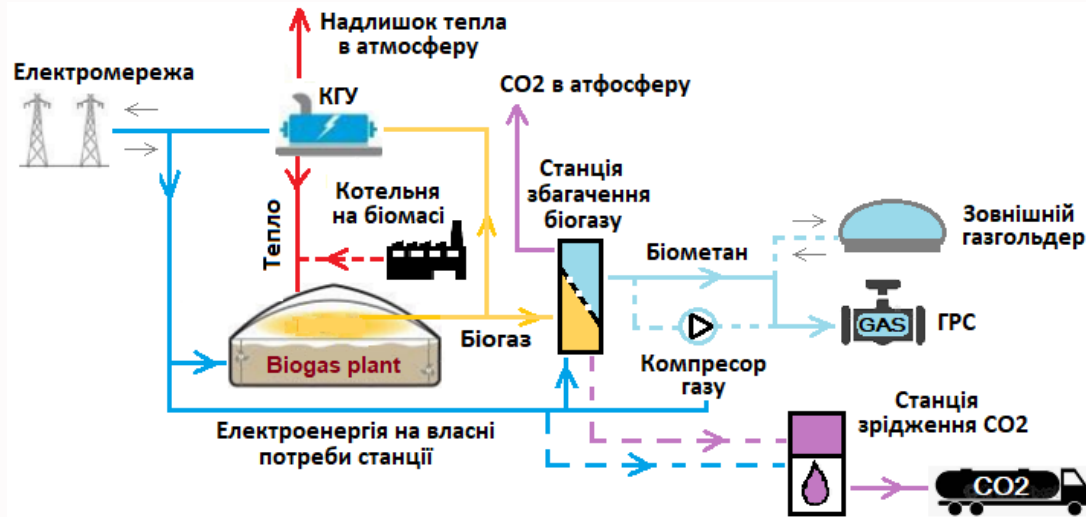


Потенційні споживачі теплової енергії

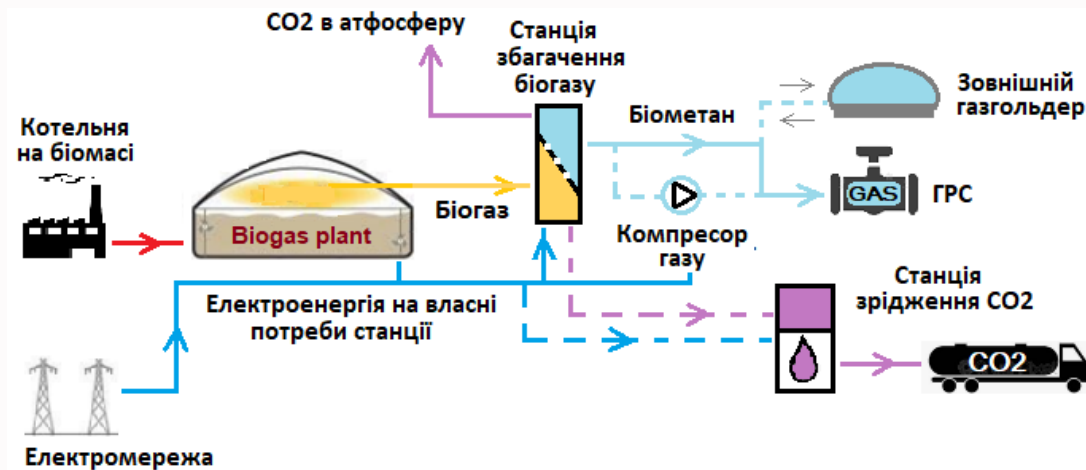
- Системи централізованого тепlopостачання
- Існуючі промислові виробництва
- Нові промислові виробництва (напр., тепличні господарства, рибні господарства, тощо)
- Сезонні споживачі тепла (сушарки)
- Охолодження продуктів харчування (молочні ферми, забійні цехи, м'ясопереробка)
- Виробництво електричної енергії в ORC модулях

Типові концепції виробництва біометану: Біометан в газорозподільну систему

Живлення
від ТЕЦ на
біогазі



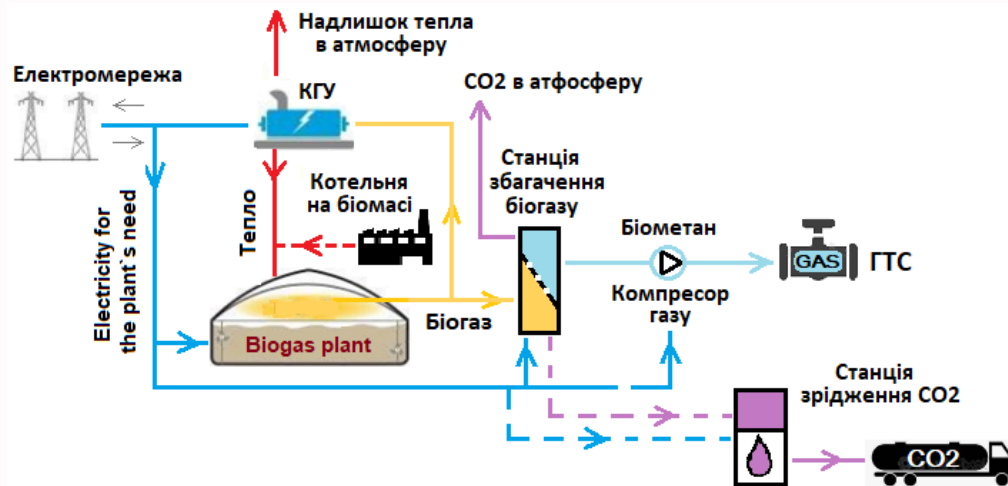
Живлення
з електро-
мережі



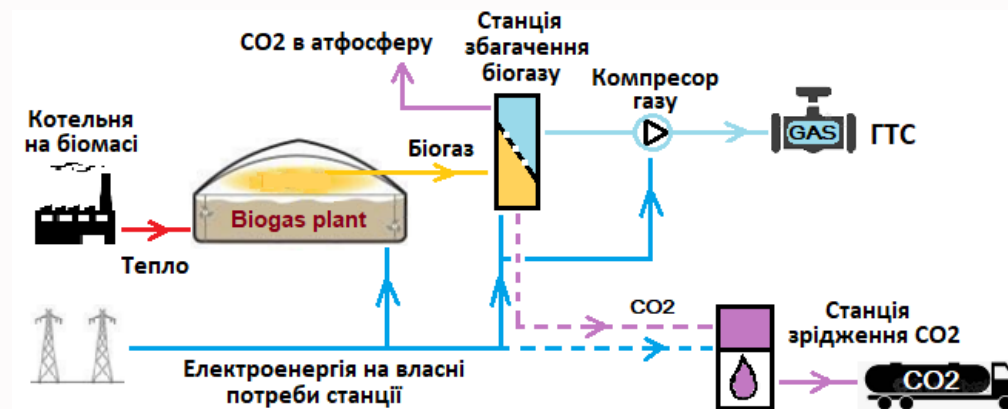
- Можлива схема, якщо мінімальна продуктивність ГРС перевищує 80% потужності біометанової установки
- Від 25% до 30% енергії біогазу буде потрібно, щоб покрити потреби всього заводу в електроенергії
- Варіант із живленням від ТЕЦ на біогазі буде доцільним там, де частково використовуються традиційні види сировини, для яких ціна біометану є найменшою.
- Автономний газгольдер буде доцільним, якщо потужність ГРС сильно коливається протягом дня
- Газовий компресор буде потрібен, якщо тиск у ГРС перевищує тиск біометану після системи збагачення + втрати тиску
- Котельня знадобиться там, де обсягу тепла ТЕЦ недостатньо для покриття потреб біогазової установки
- Підключення до електромережі необхідне для забезпечення безперебійного електропостачання
- Скраплення CO₂ є можливим варіантом, якщо можливо забезпечити реалізацію за ціною не менше 200-300 євро/т та/або додаткове скорочення CO₂ може бути сертифіковано, що призведе до вищої ціни на біометан

Типові концепції виробництва біометану: Біометан в газотранспортну систему

Живлення
від ТЕЦ на
біогазі



Живлення
з електро-
мережі



- Можлива концепція для переважної більшості потужностей з виробництва біометану.
- Від 25% до 30% біогазу буде потрібно, щоб покрити потреби всього заводу в електроенергії.
- Варіант із живленням від ТЕЦ на біогазі буде доцільним там, де частково використовуються традиційні види сировини, для яких ціна біометану є найменшою.
- Зовнішній додатковий газгольдер не потрібен.
- Газовий компресор високого тиску слід передбачити в будь-якому випадку
- Котельня знадобиться там, де обсягу тепла ТЕЦ недостатньо для покриття потреб біогазової установки.
- Підключення до електромережі необхідне для забезпечення безперебійного електропостачання.
- Скраплення CO2 є доцільним варіантом при ціні реалізації не менше 200-300 євро/т та/або додаткове скорочення CO2 може бути сертифіковано, що призведе до вищої ціни на біометан.
- Потрібна більш надійна система контролю O2 у біогазі.
- Там, де можливо, можлива система реверсних компресорів для подачі біометану з ГРС до ГТС.

Типові концепції виробництва біометану: Біометан в bio-CNG / bio-LNG

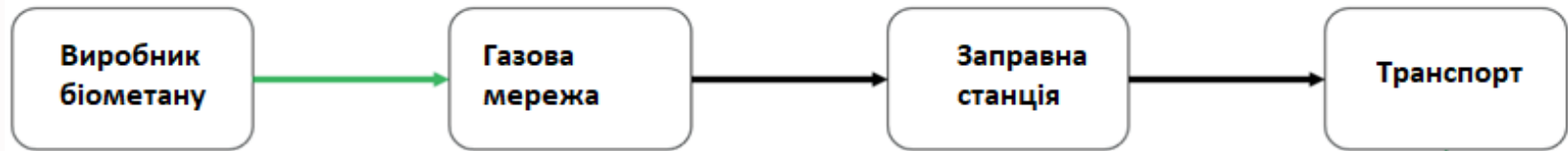
Пряме підключення до
виробника біометану,
CNG



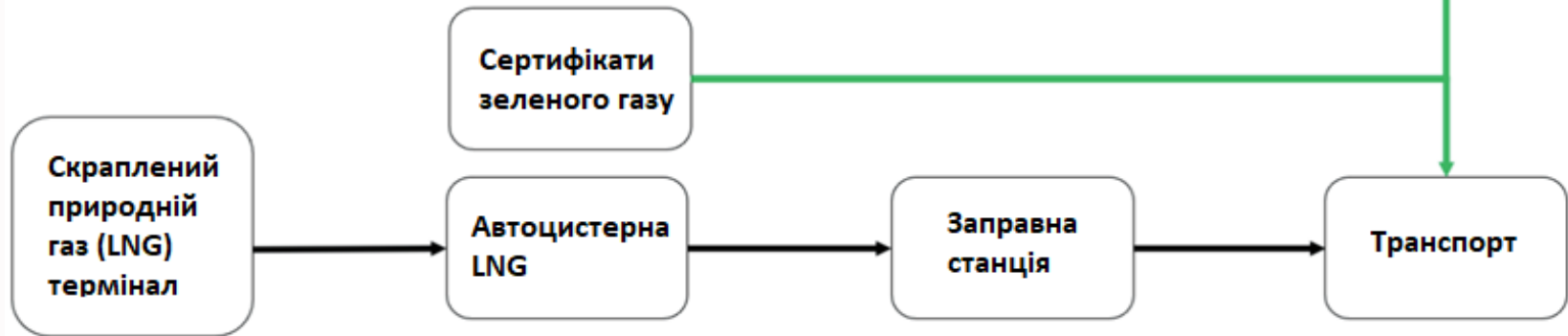
Пряме підключення до
виробника біометану,
LNG



Стиснений біометан
через газову мережу та
сертифікати на зелений
газ



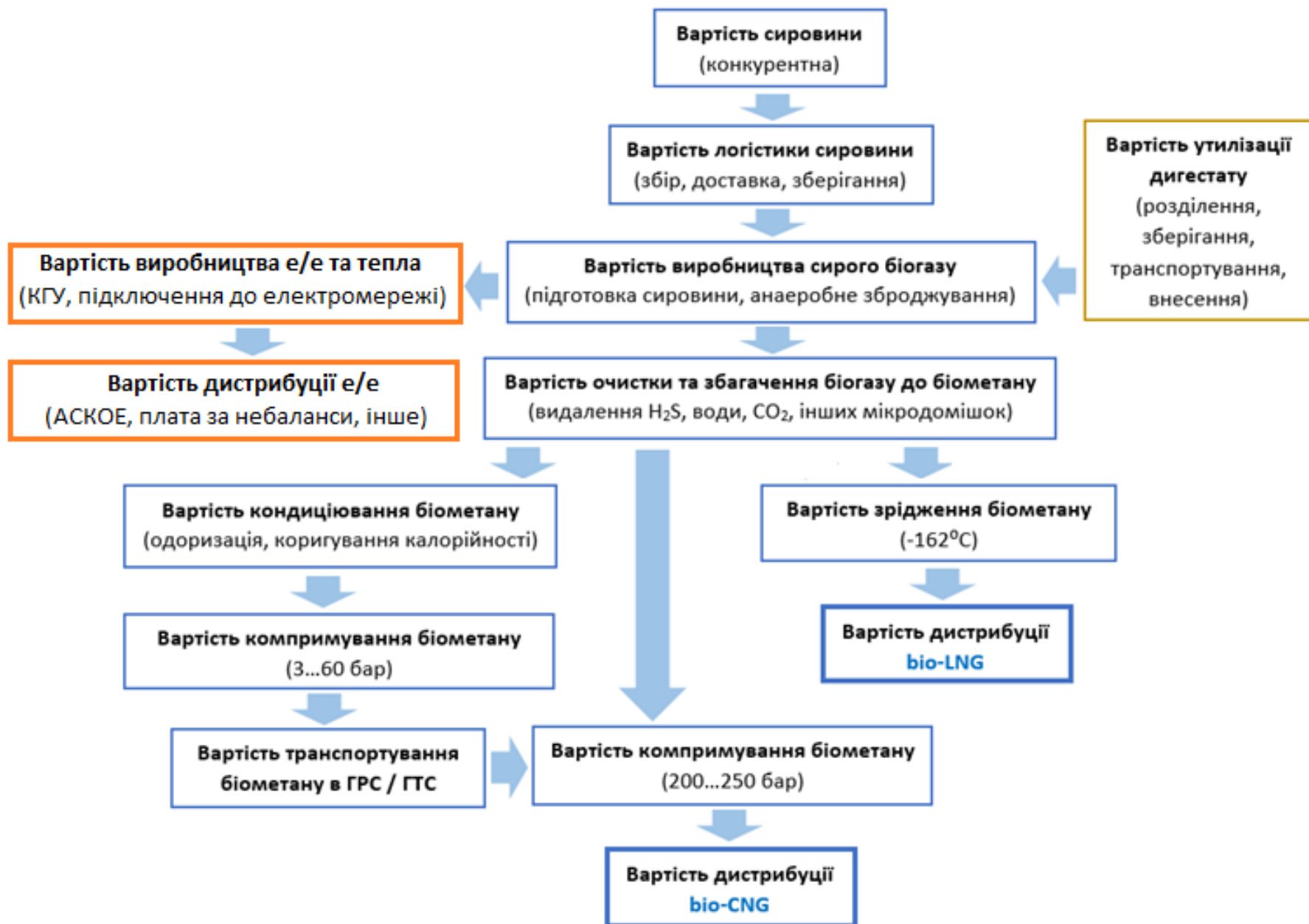
LNG та сертифікати на
зелений газ



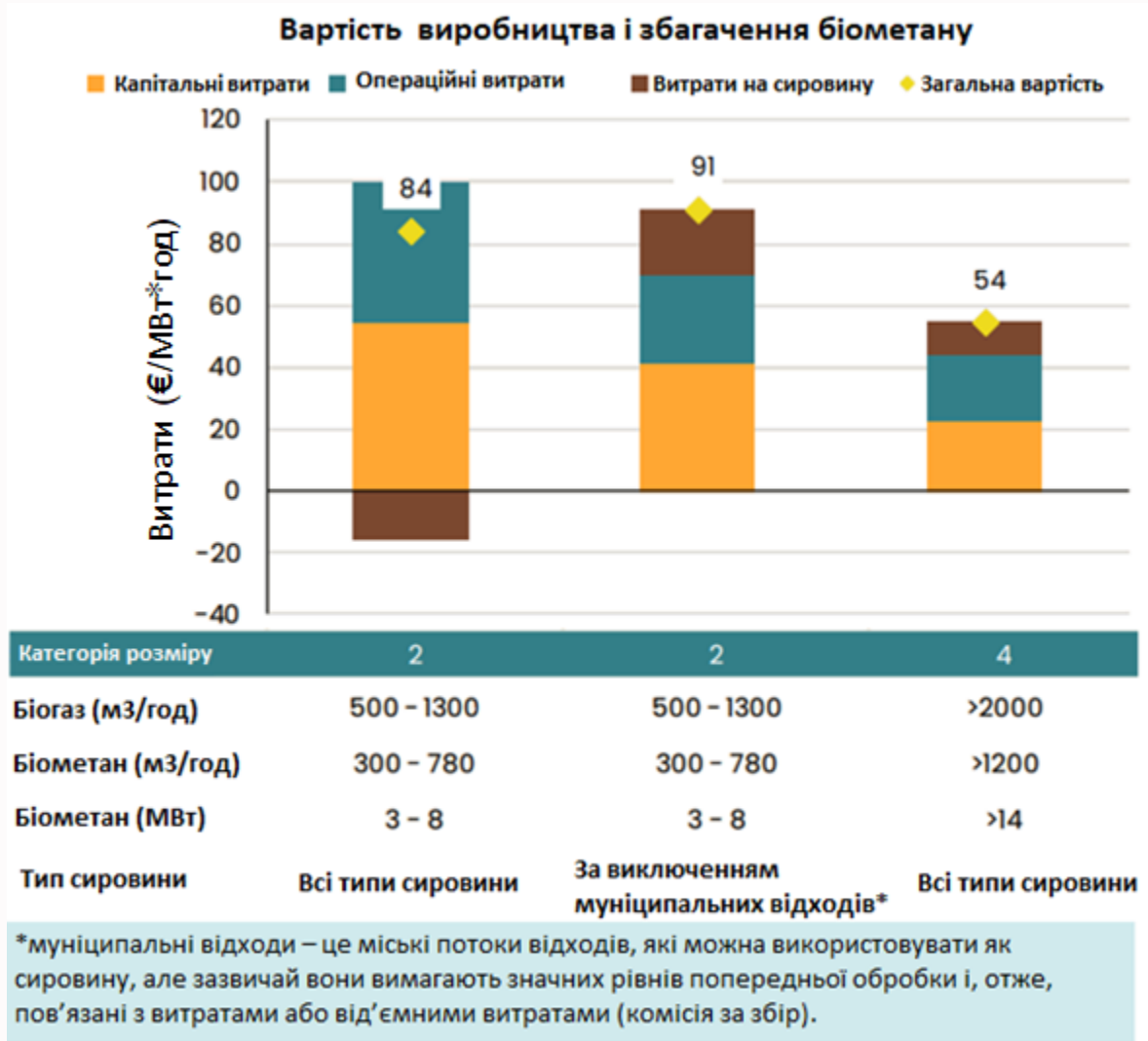


Типові CAPEX та OPEX проєктів

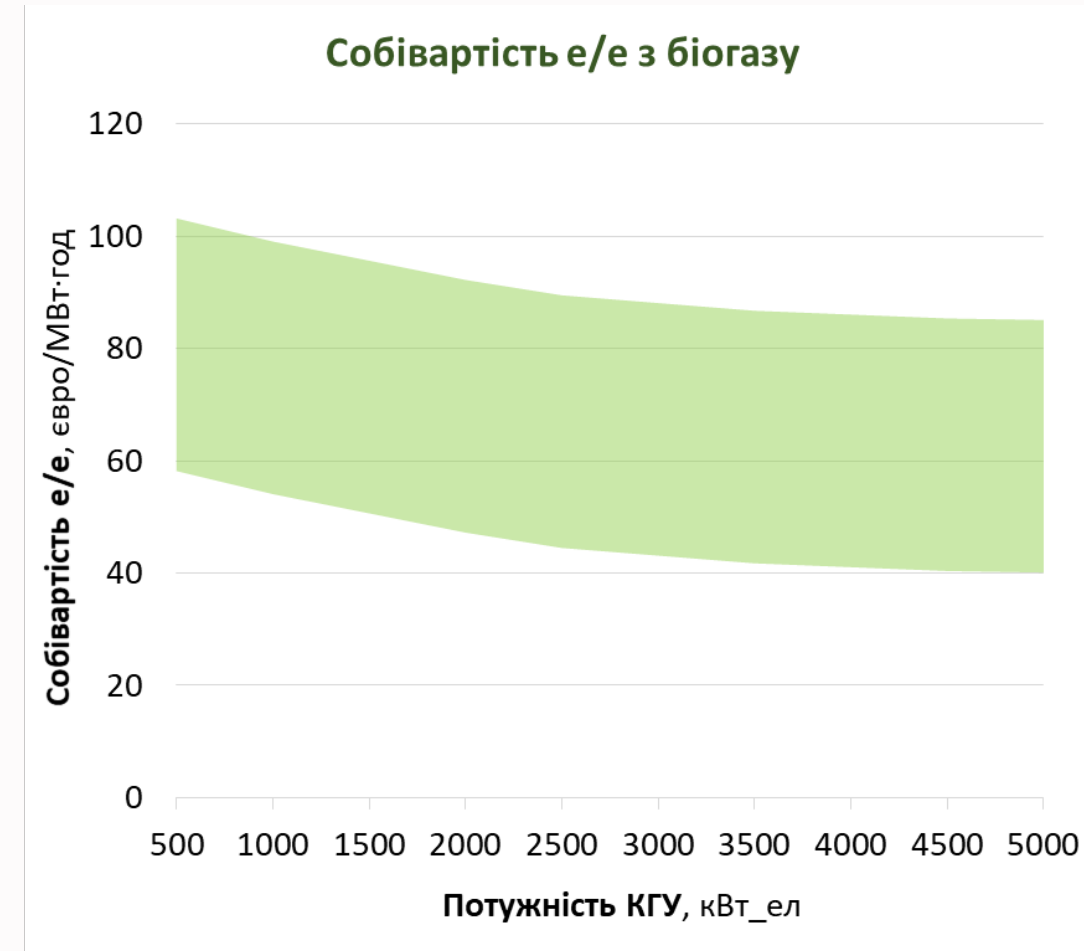
Основні складові собівартості



Собівартість біометану та е/е з біогазу



Джерело: Biomethane industrial partnership, 2023



Для порівняння: сума прогнозованої біржової (TTF) ціни на ПГ (44 євро/МВт·год) та ETS ціни на викиди CO₂ з ПГ 100 євро/тCO₂ (20 євро/МВт·год при EF_{ПГ} = 56 гCO₂/МДж) складає наразі **64 євро/МВт·год**

CAPEX виробництва біогазу

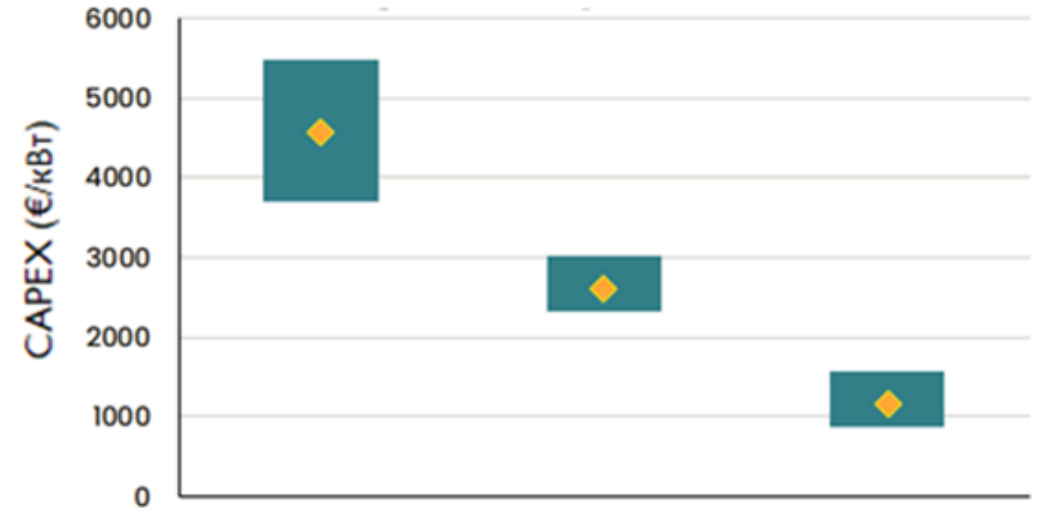
Проекти
середнього
розміру
1...5 млн м³CH₄
/ рік

Проекти
великого
масштабу
10...20 млн
м³CH₄ / рік

CAPEX
1,6...4,6 млн
євро

CAPEX
10...18 млн євро

CAPEX біогазової станції

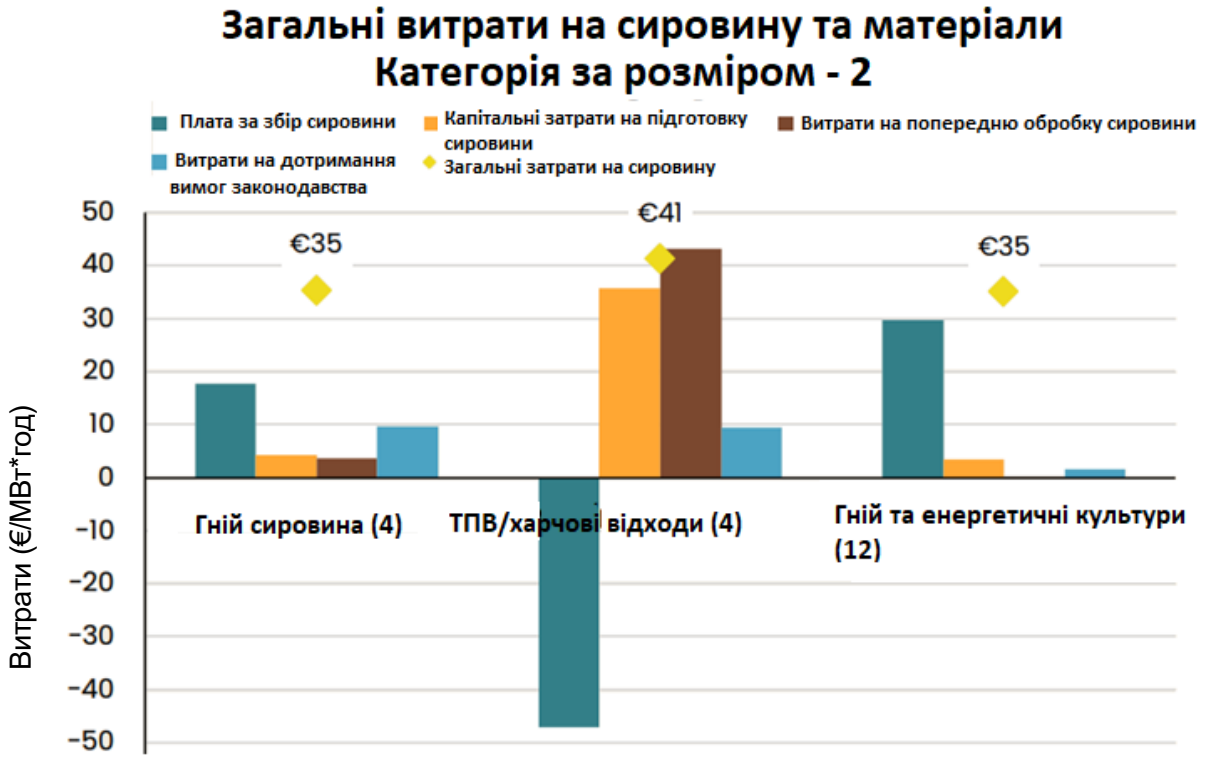


Категорія за розміром	2 (комунальні)	2 (інші)	4
Біогаз (м.куб/год)	500 - 1300	500 - 1300	>2000
Біометан (м.куб/год)	300 - 780	300 - 780	>1200
Біометан (MWt)	3 - 8	3 - 8	>14
Кількість заводів	4	23	4

Джерело: Biomethane industrial partnership, 2023

Вартість сировини

Тип сировини	Питомий вихід CH ₄ , м ³ CH ₄ /т	Вартість сировини, грн/т	Питома вартість сировини, євро/1000 м ³ CH ₄
Жом цукрового буряка (СР 25%)	83	200	60
Курачий послід (СР 40%)	90	300	83
Пшенична солома	220	1500	170
Гній ВРХ (СР 25%)	44	500	284
Силос кукурудзи (СР 33%)	107	1600	374
Меляса	224	4800	536

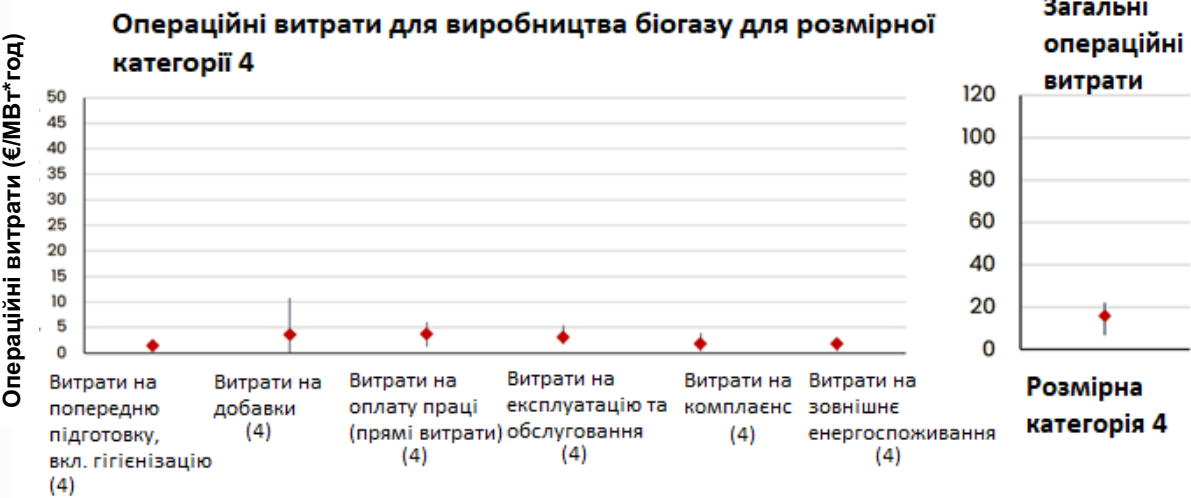
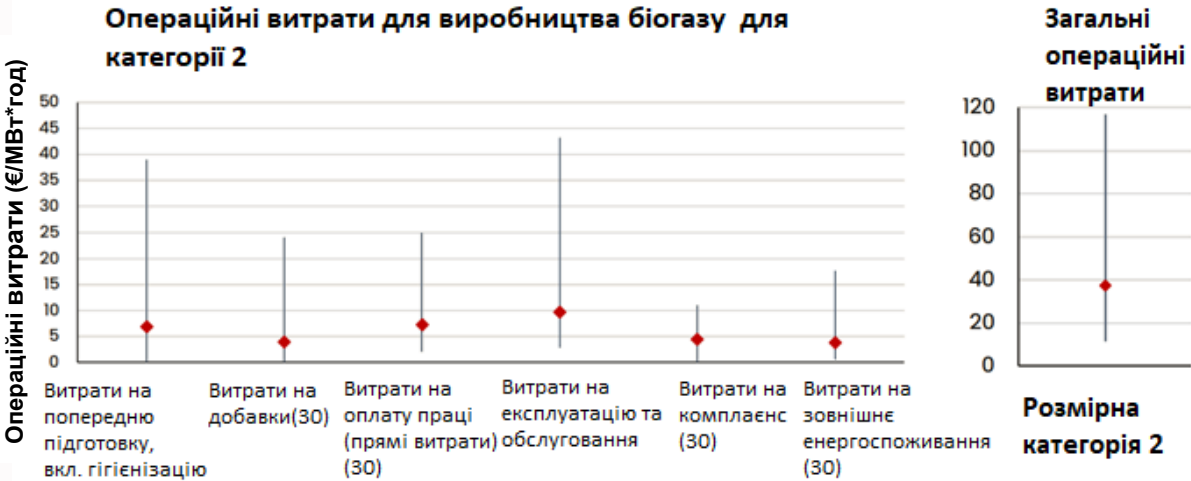


Джерело: Biomethane industrial partnership, 2023

Суміш сировини	Одиниці	Гній	Гній та енергетичні культури	ТПВ/харчові відходи, промислові відходи (вкл. ППТ) та осади муніципальних ОС	Інші
Вартість сировини	євро/МВт*год _{CH₄}	8-43	23-39	(-94)-0	0-24
Кількість заводів	#	6	52	8	8

ППТ- побічні продукти тваринництва

Операційні витрати на виробництво біогазу

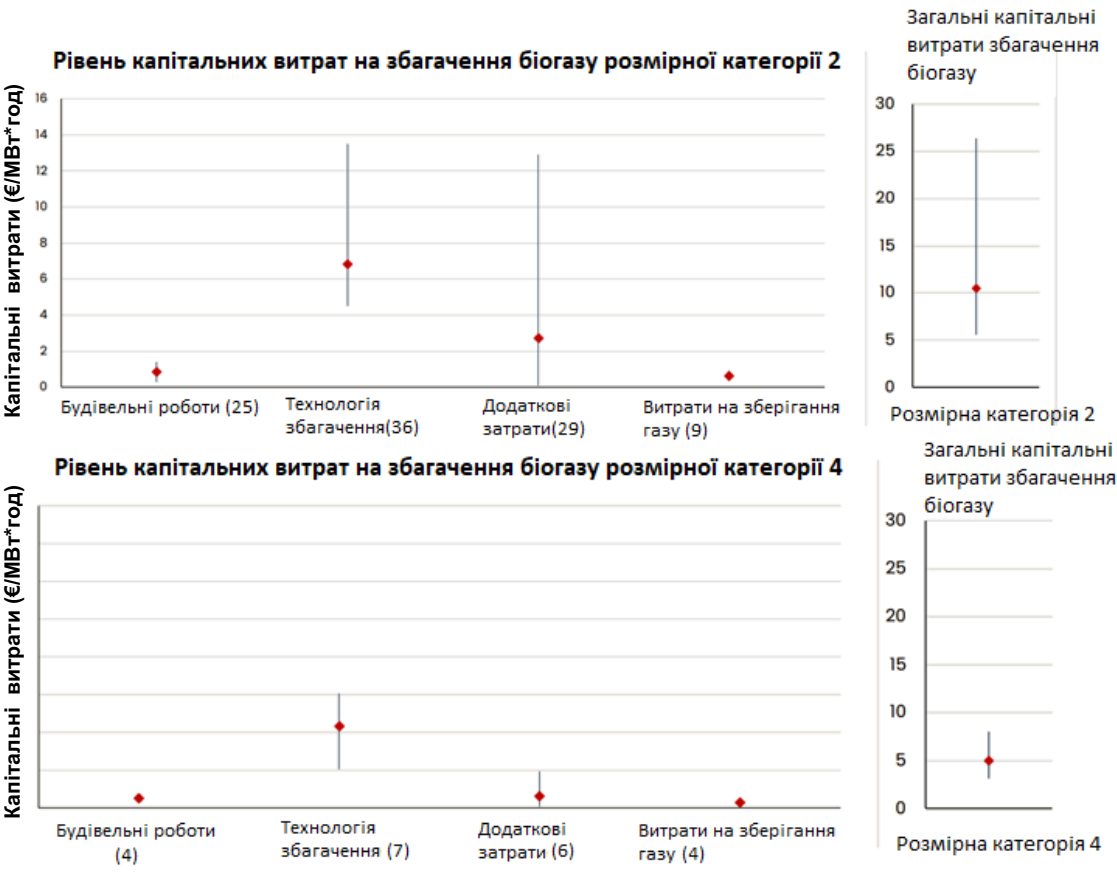


Категорія за розміром	1	2	3	4
Біогаз (м.куб/год)	<500	500 – 1300	1300 – 2000	>2000
Біометан (м.куб/год)	<300	300 – 780	780 – 1200	>1200
Біометан (МВт)	<3	3 – 8	8 – 14	>14
Кількість заводів	18	27	7	4

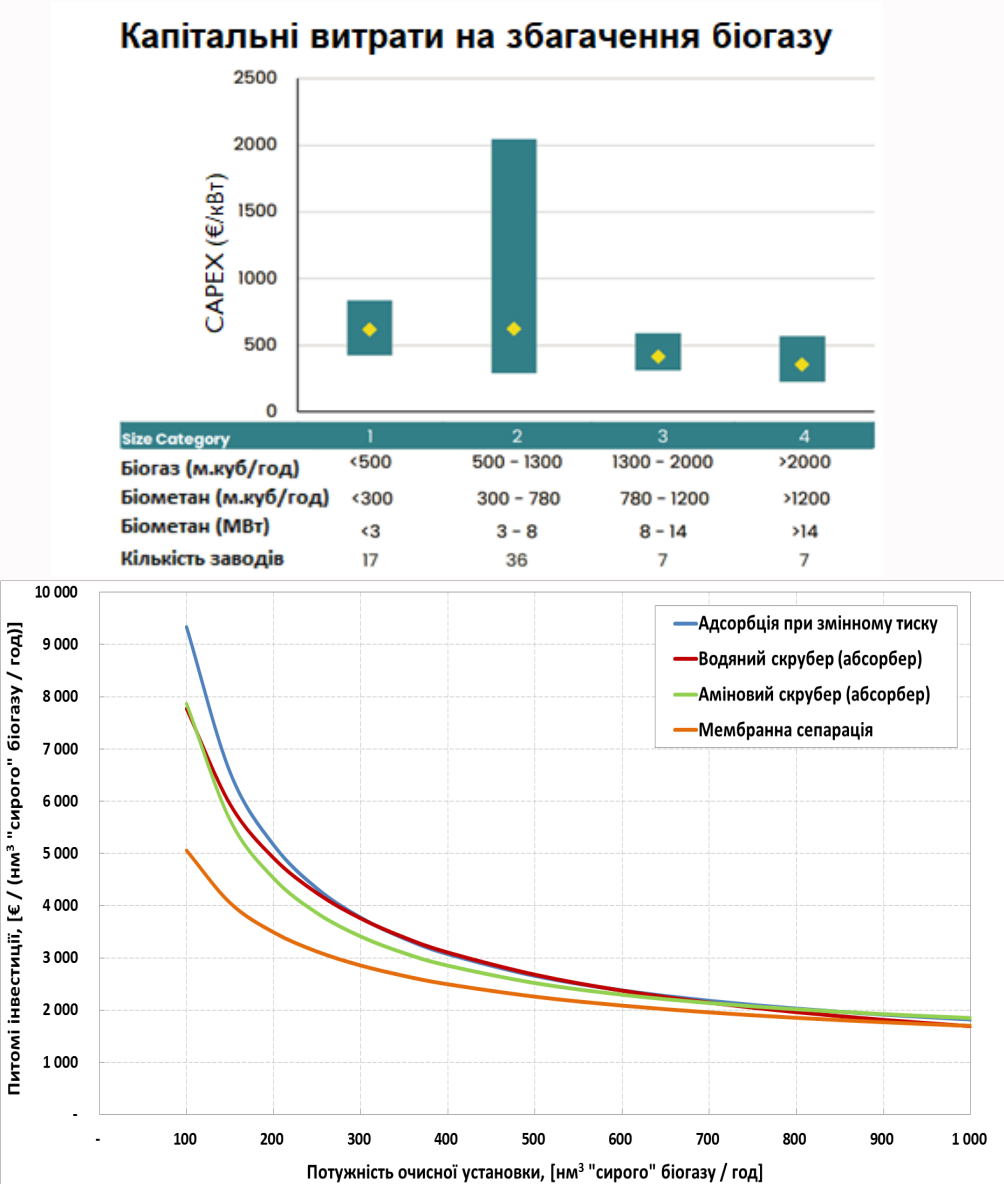
Потреба в електроенергії:
0,2...0,3 кВт·год / м³ CH₄

Потреба в тепловій енергії:
1,0...1,2 кВт·год / м³ CH₄

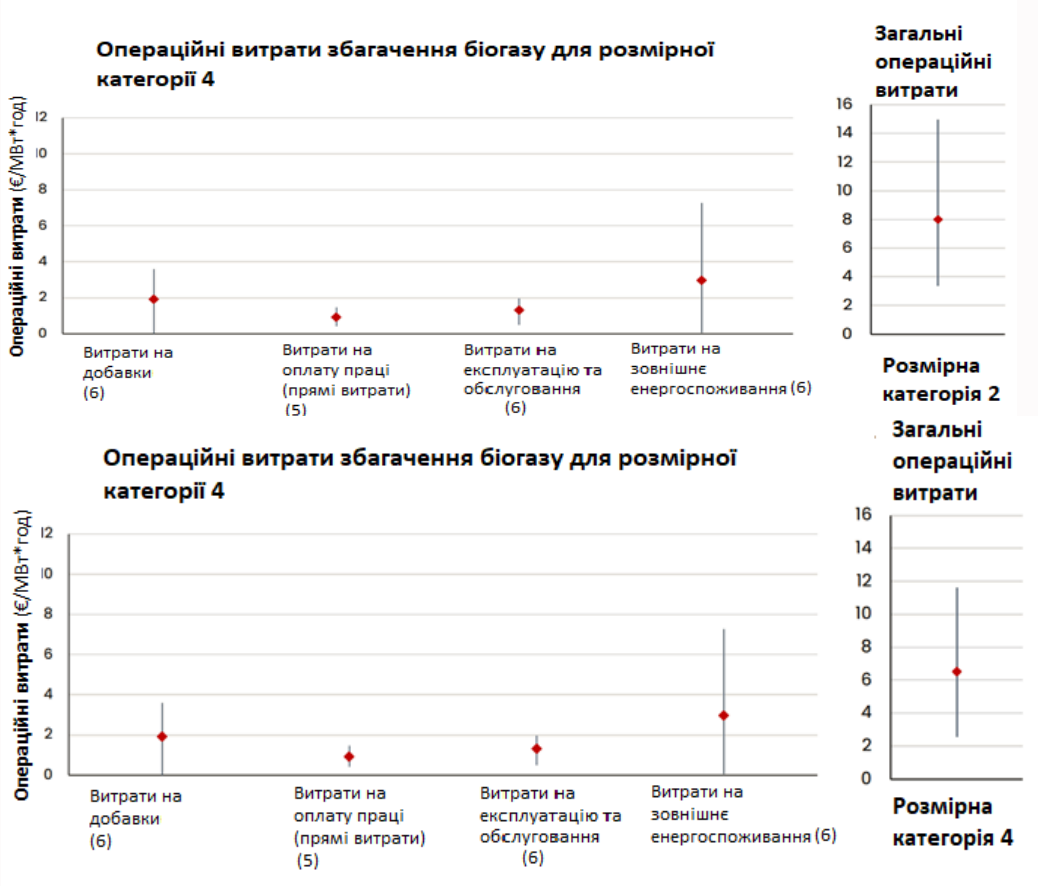
Капітальні витрати на збагачення біогазу



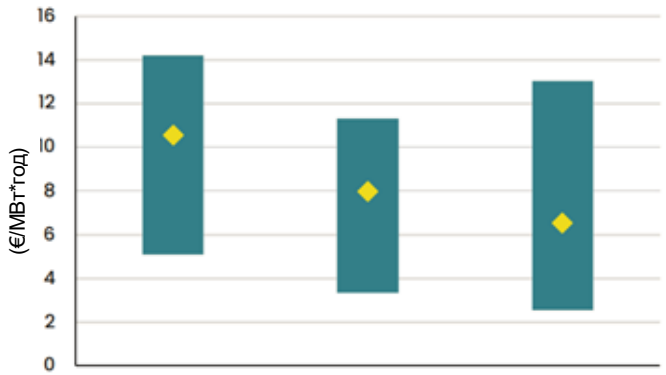
Джерело: Biomethane industrial partnership, 2023



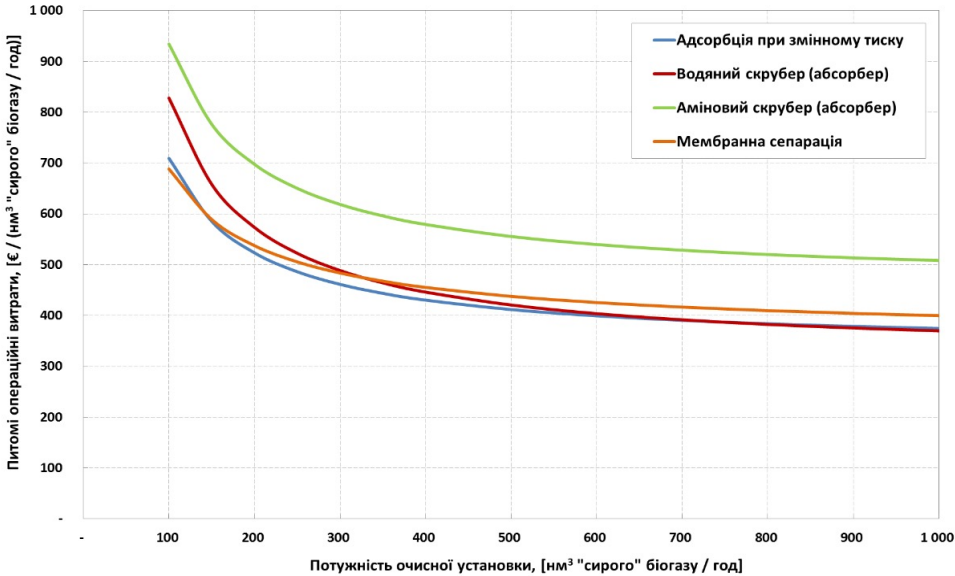
ОРЕХ збагачення біогазу



Операційні витрати на багачення біогазу

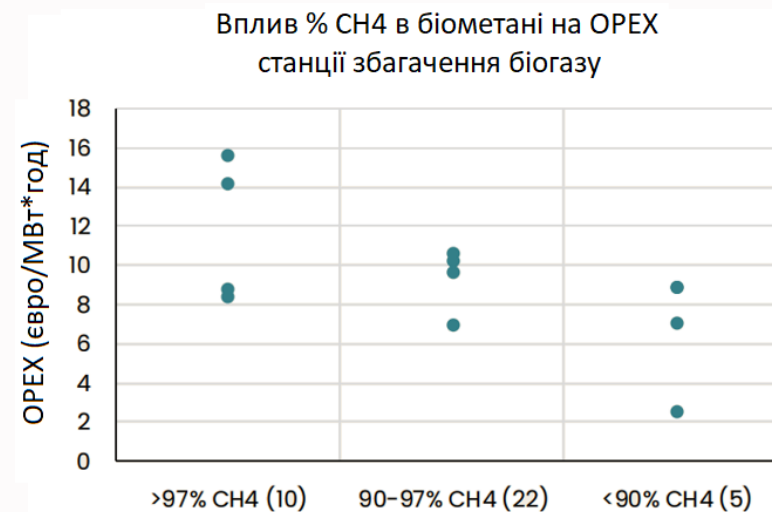
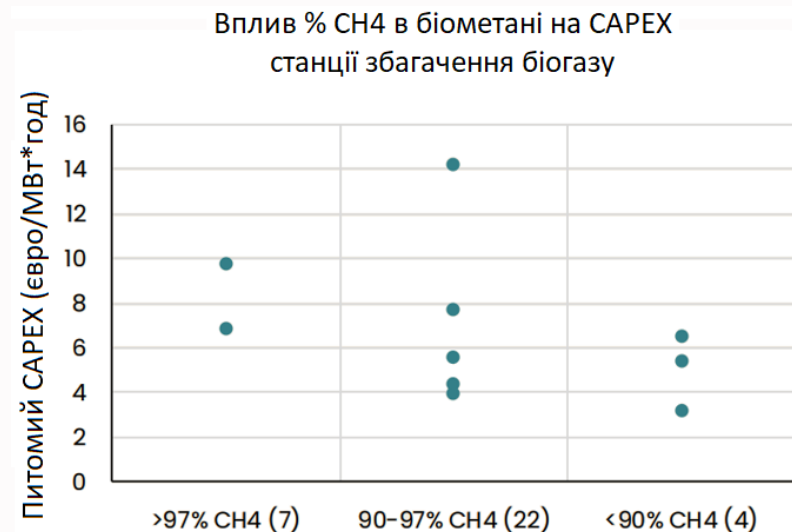
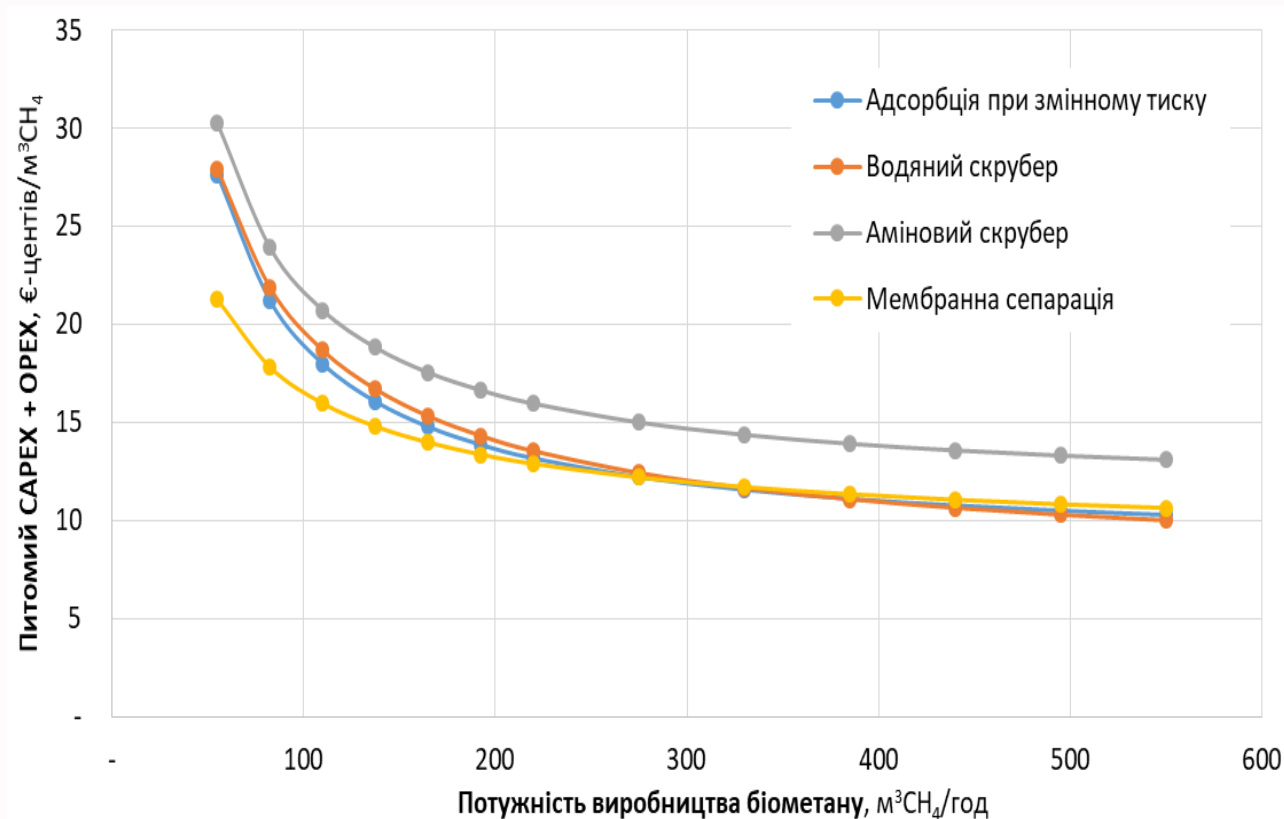


Розмірна категорія	1	2	3	4
Біогаз (м.куб/год)	<500	500 – 1300	1300 – 2000	>2000
Біометан (м.куб/год)	<300	300 – 780	780 – 1200	>1200
Біометан (MBt)	<3	3 – 8	8 – 14	>14
Кількість заводів	17	36	7	7



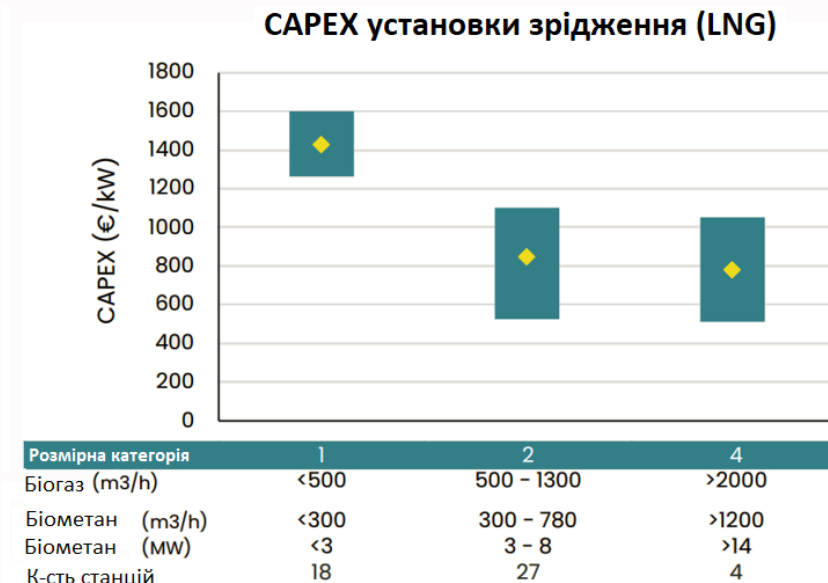
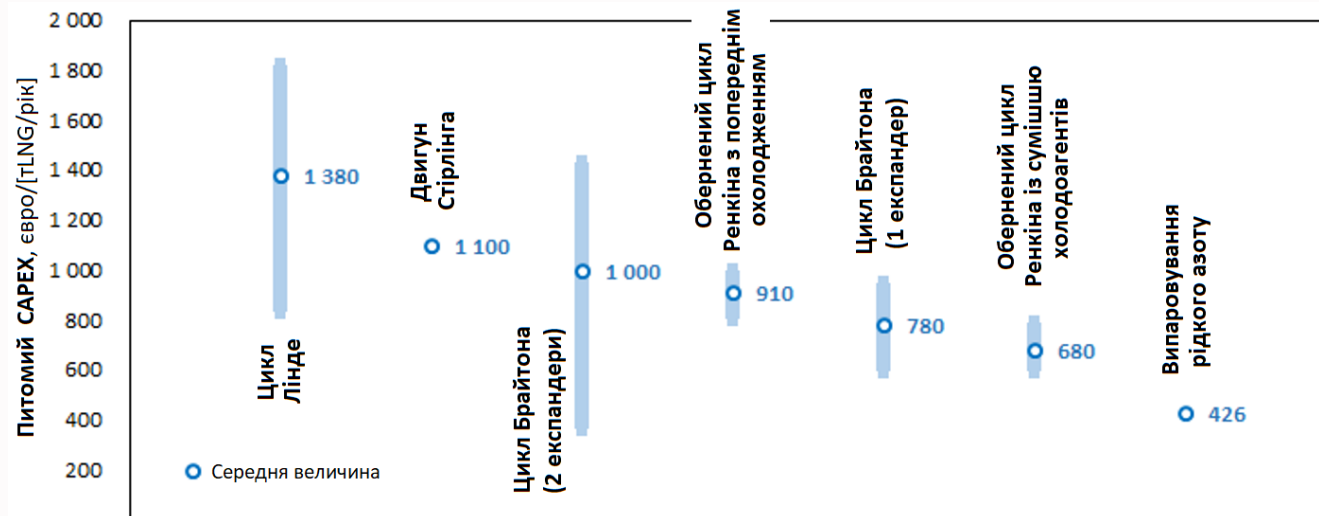
Джерело: Biomethane industrial partnership, 2023

Загальна вартість збагачення біогазу (CAPEX + OPEX)



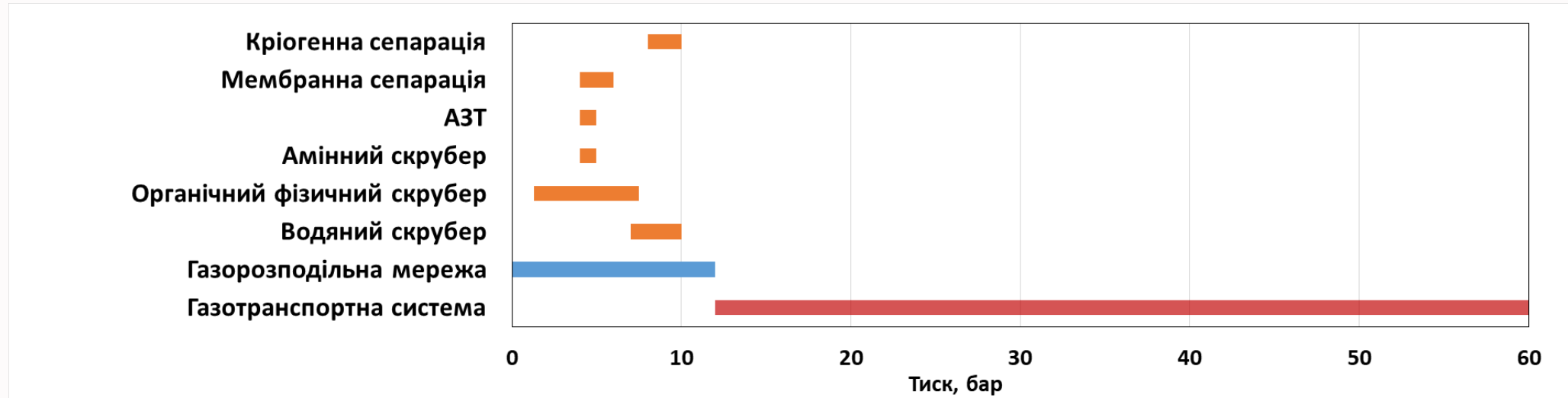
Джерело: Biomethane industrial partnership, 2023

Вартість скраплення біометану

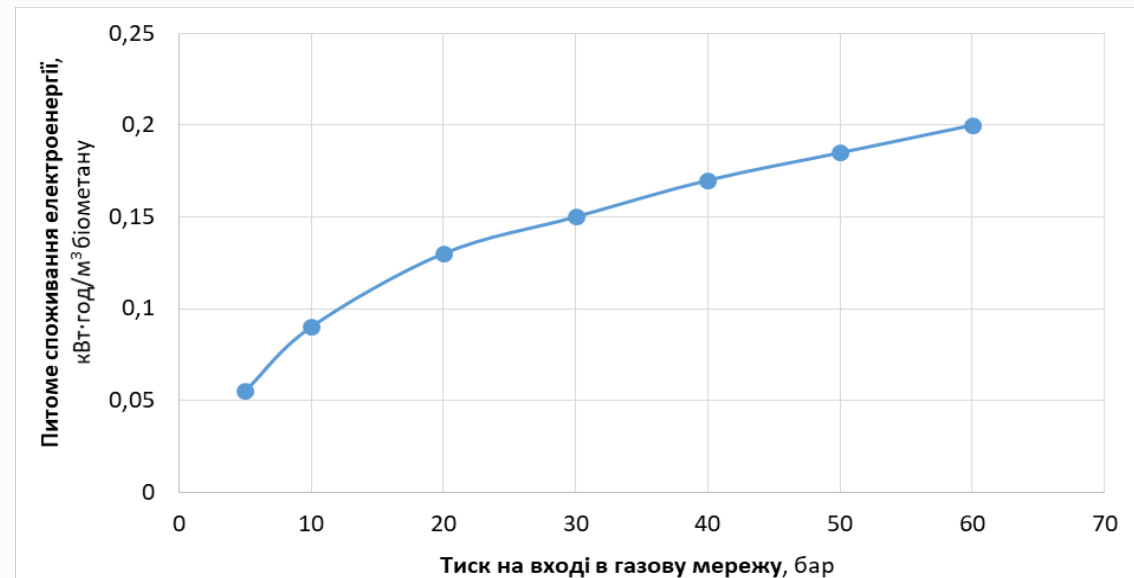


- Річні експлуатаційні витрати на технічне обслуговування установок зрідження біометану можуть становити 2,5...3,0% їх вартості.
- Орієнтовна вартість зрідження біометану для установки потужністю 5 т LNG/добу становитиме приблизно 100 євро/1000 м³CH₄ для систем зі змішаним циклом (SMR) і 250 євро/1000 м³CH₄ для систем з випаровуванням азоту.
- Системи охолодження рідким азотом прості в експлуатації, дешевші, але потребують значних витрат на рідкий азот. Витрата азоту становить близько 1,8 кг на 1 м³ зрідженого біометану.

Вартість стиснення біометану



Витрати електроенергії на стиснення біометану до 5...60 бар становлять 0,55...2% від енергії біометану, відповідно



Вартість транспортування біометану, bio-LNG та LCO₂

- Тарифи на транспортування природного газу ГТС визначаються Оператором ГТС.
- Тарифи на транспортування природного газу до країн ЄС через кордон України встановлюються на рівні **14,5-15,0 доларів США за 1000 м³ на добу** без ПДВ залежно від точки виходу. Підвищувальні та понижуючі коефіцієнти встановлюються також для транспортних послуг.
- Також оператор ГТС встановив тарифи на транспортування газу в межах України. Так, на вході в ГТС газовидобувному підприємству потрібно буде заплатити 101,93 грн (2,7 євро) за 1000 м³/добу, а в точках відбору газу – 124,16 грн (3,3 євро) за 1000 м³/добу (без ПДВ).

Кріогенний напівпричіп-цистерна
ємністю 52 м³ (20 т LNG) для
перевезення зрідженого біометану,
надлишковий тиск 7 бар, вартість
≈ 190 тис. євро

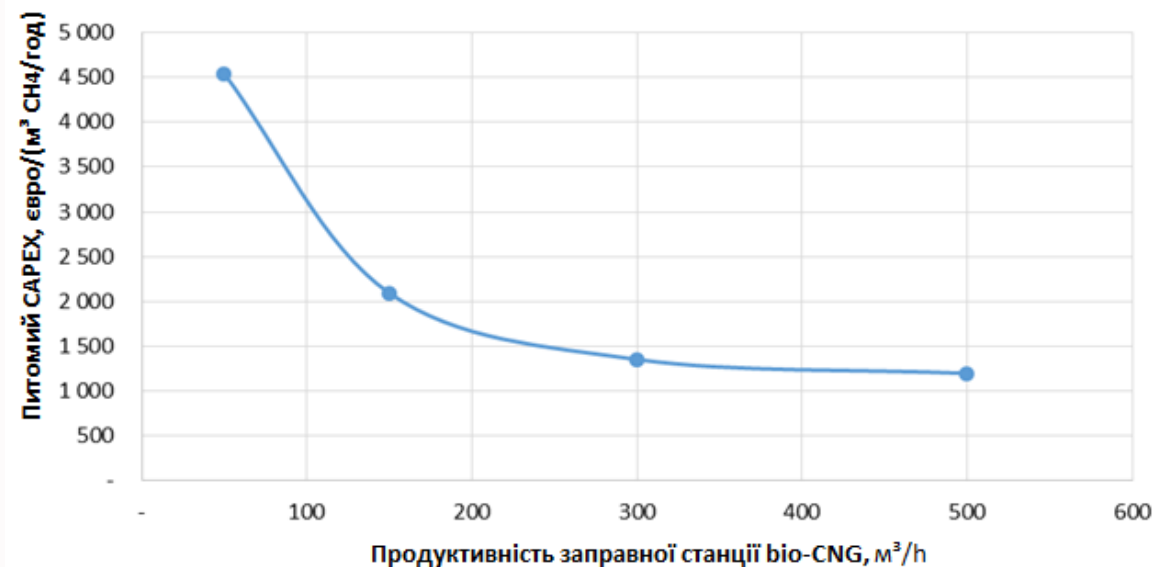
Транспортування на відстань 1400 км
може коштувати **≈ 110 євро/т**

Кріогенний напівпричіп-цистерна
ємністю 25 м³ (24 т CO₂) для
перевезення зрідженого CO₂,
надлишковий тиск 22 бар, вартість
≈ 110 тис. євро

Транспортування на відстань 1400 км
може коштувати **≈ 25 євро/т**

Витрати на заправні станції CNG / LNG

Продуктивність заправної станції, кг/добу	CAPEX заправної станції, євро		
	CNG	LNG	L-CNG
500	160,000	73,000	150,000
1 000	200,000	93,000	200,000
2 000	250,000	190,000	350,000
5 000	350,000	260,000	500,000
10 000	700,000	350,000	800,000



- Вартість bio-CNG АЗС потужністю 500 м³СН₄/год становитиме приблизно 600 тис. євро. Питомі CAPEX АЗС коливаються від 1200 до 4540 євро/[м³СН₄ /год] при продуктивності від 500 до 50 м³СН₄ /год, відповідно.
- Вартість bio-LNG АЗС в середньому на 80% нижча, ніж вартість bio-CNG заправних станцій з аналогічною продуктивністю. Вартість комбінованої АЗС з одночасною можливістю заправки як bio-CNG так і bio-LNG при малих потужностях 0,5...1,0 т/добу співмірна аналогу на bio-CNG, а на більших – 2,0. ..10,0 т/добу вище в середньому на 30%.
- Середні витрати на стиснення становлять 3,5% енергії біометану. Інші річні експлуатаційні витрати становитимуть до 10 000 євро/рік. Повна орієнтовна вартість заправки bio-CNG (CAPEX + OPEX) може становити 63...106 євро/1000 м³СН₄, при вартості електроенергії 0,15 євро/кВт*год

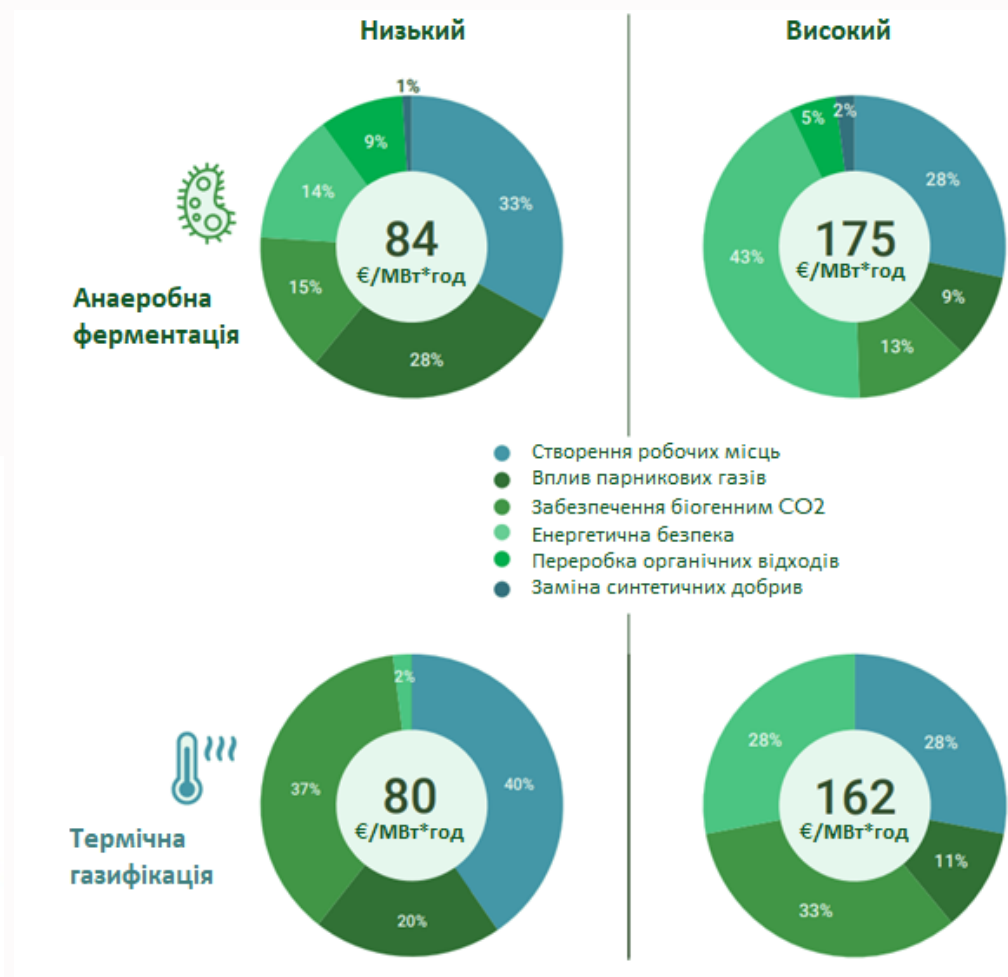
Економічні переваги виробництва біометану

Можливі джерела прибутку біометанового проекту

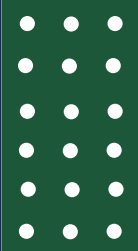
- Вартість молекул CH_4 (ринок природного газу)
- Премія за біометан (вуглецевий слід, подвійний залік енергії, добровільний ринок)
- Вартість молекул CO_2
- Вартість макро- та мікроелементів у дигестаті
- Доведене підвищення врожайності
- Зниження вартості екологічних штрафів і платежів
- Податкові пільги для основного виробництва...



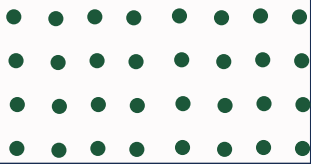
Супутні економічні ефекти біометану



Джерело: ЕВА, 2023



Приклади ТЕО



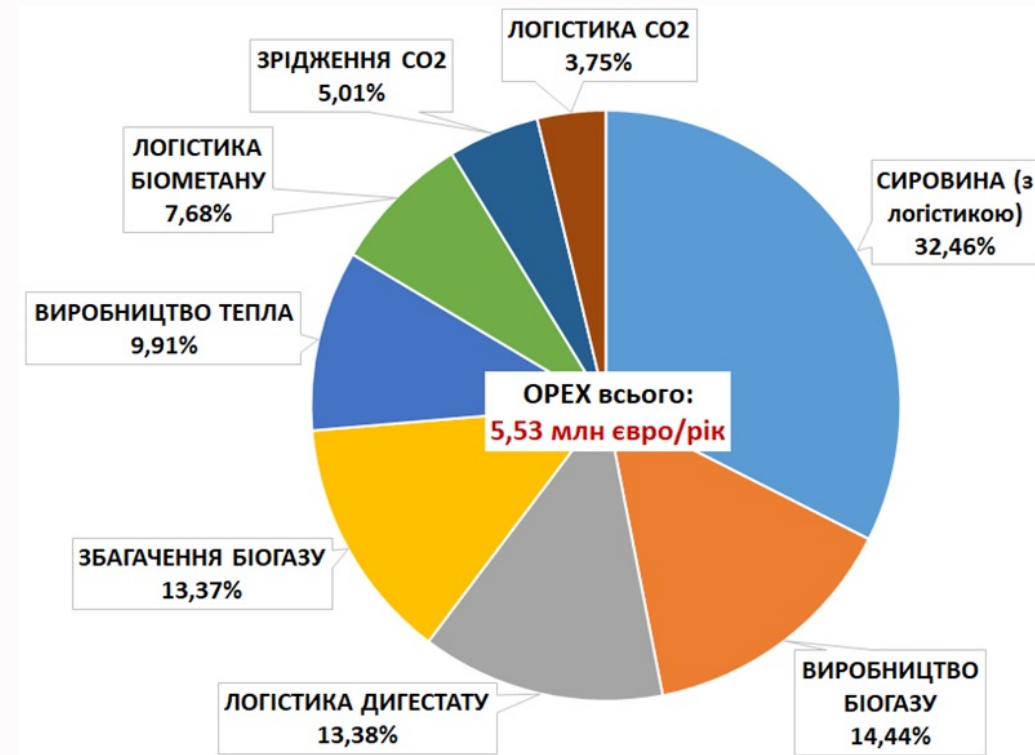
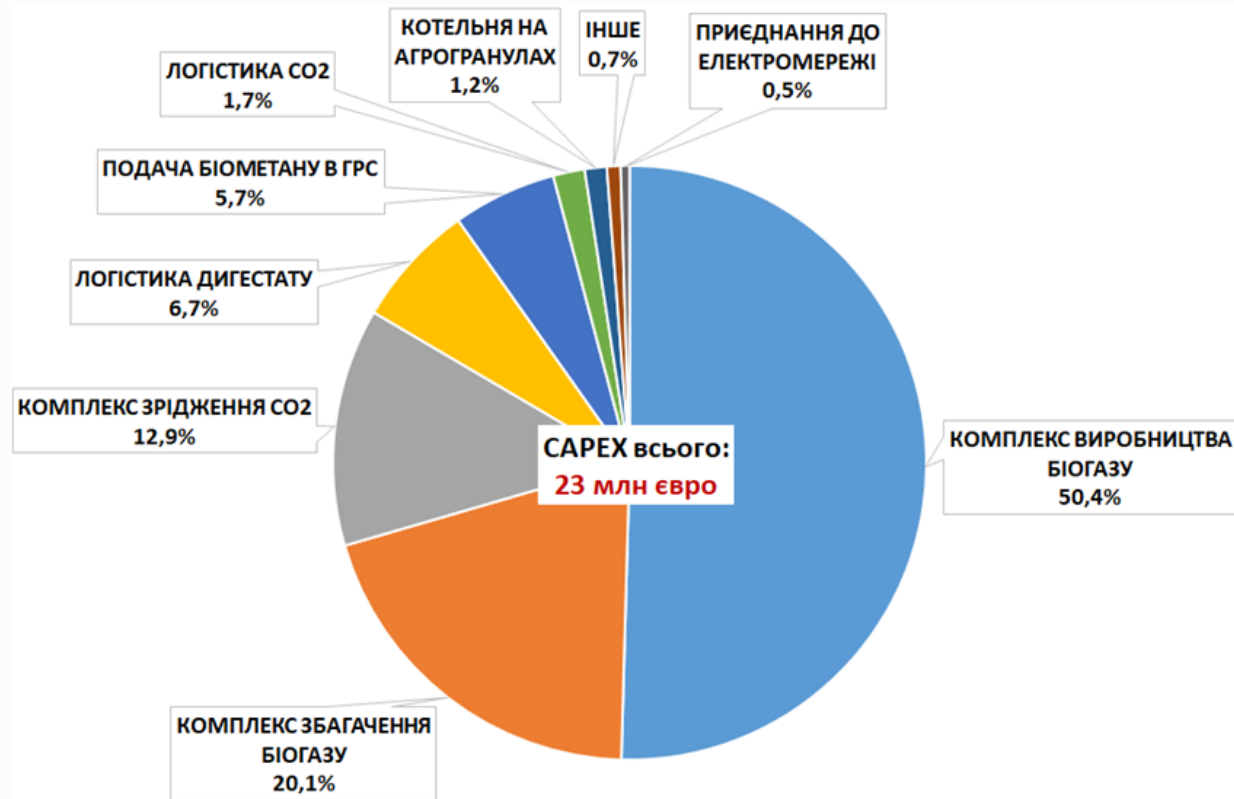
Приклад ТЕО (1): Виробництво біометану (12..15 бар) з жому цукрового буряку

Параметр	Значення
Технологія збагачення біогазу	Мембранна сепарація
Річне виробництво, млн нм^3 /рік біометану	4.1
Експлуатаційне навантаження, год/рік	8300
Річна потреба в сировині, 1000 т/рік	55
Ціна сировини, EUR/т з ПДВ	5
CAPEX, млн EUR	10.18
OPEX, млн EUR/рік	1.31
Питомі операційні витрати на виробництво біометану, EUR/ м^3	0.319
- сировина	0.067
- логістика сировини	0.040
- обслуговування та ремонт	0.184
- логістика біометану та дигестату	0.011
- оплата праці персоналу	0.017
Ціна реалізації біометану, євро / м^3 , з ПДВ	0.9
Дохід від реалізації біометану, млн євро/рік	3.7
Ціна реалізації твердої фракції дигестату, EUR/т, з ПДВ	71.9
Дохід від реалізації дигестату, млн EUR /рік	0.55
Приведена вартість виробництва біометану, EUR/ м^3	0.6
Частка позики в CAPEX, %	60
Строк кредитування, років	7
Ставка кредитування в євро, %	8.5%
Внутрішня норма прибутковості (IRR), %	25.9%
Простий термін окупності, років	4.9

Приклад ТЕО (2): Виробництво bio-LNG та скрапленого CO₂ з жому цукрових буряків

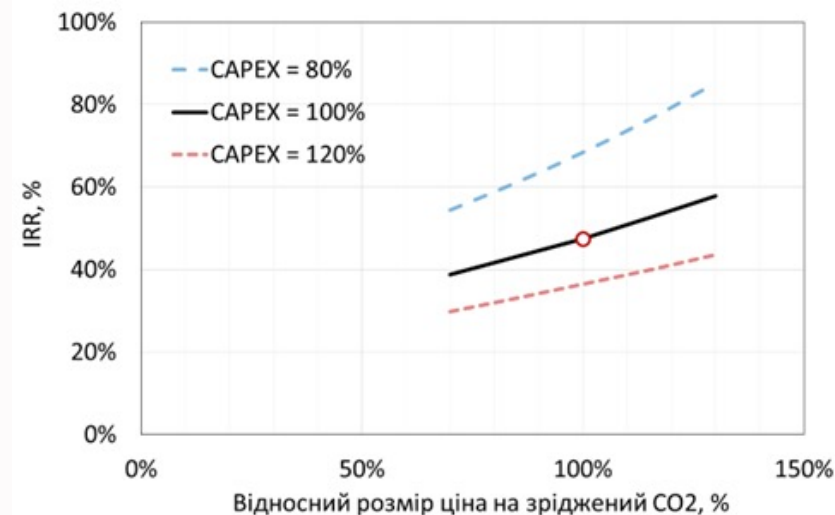
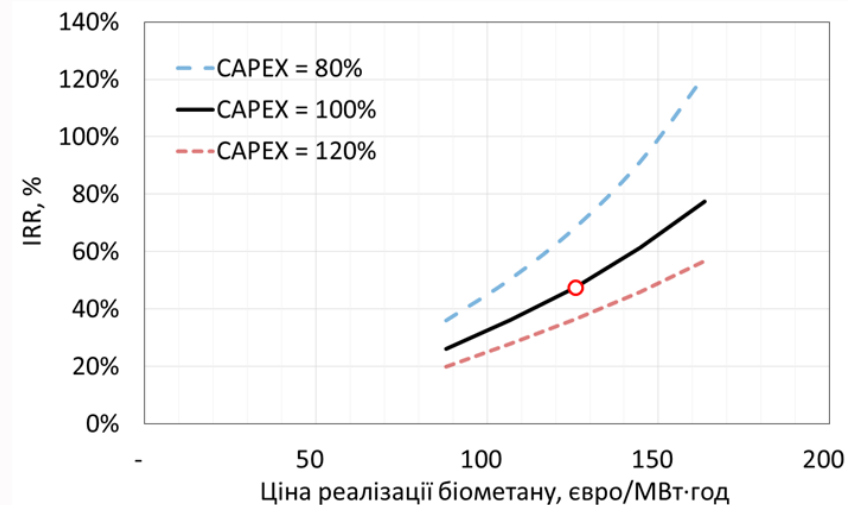
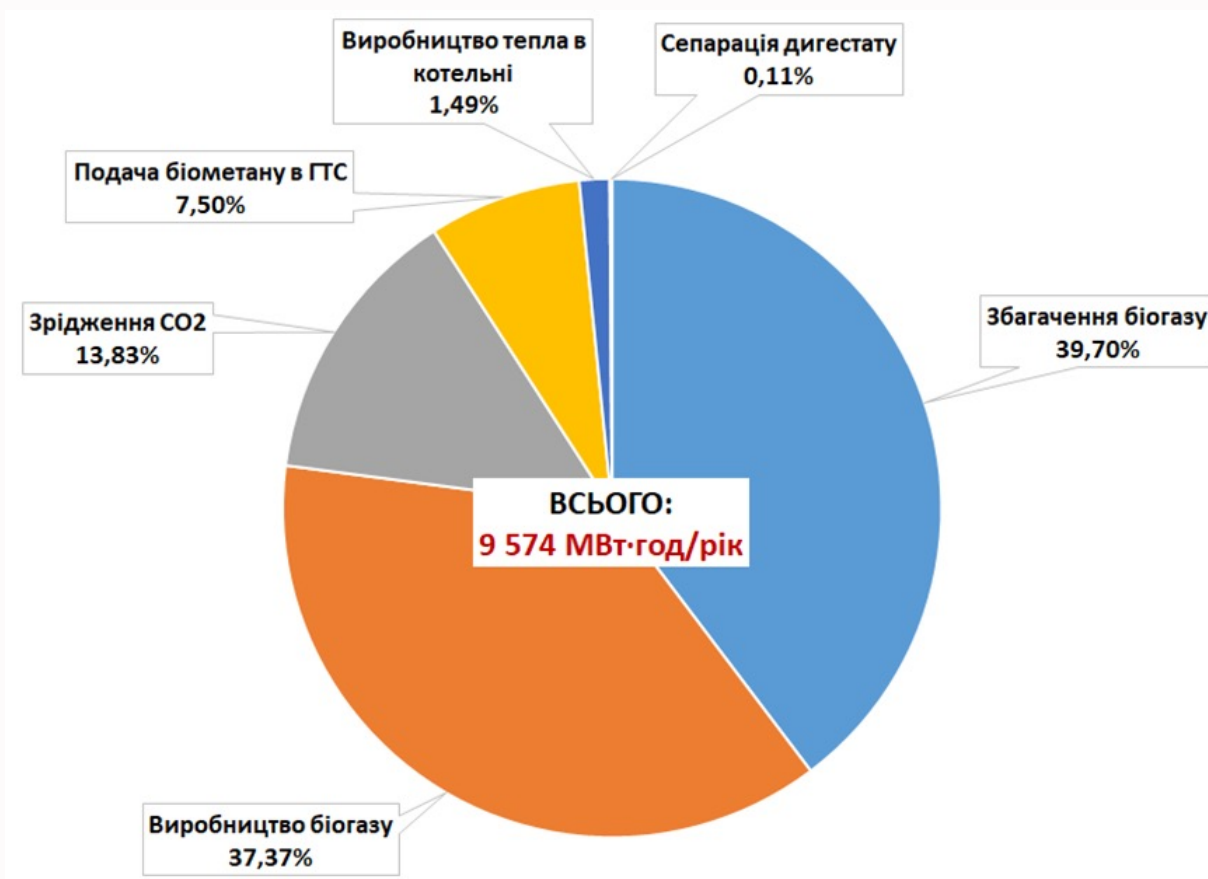
Параметр	Значення	
Технологія зрідження	3-стадійний рефрижератор	рідкий азот
Річне виробництво bio-LNG, т/рік	2900	
Річне виробництво скрапленого CO ₂ , т/рік	6700	
Експлуатаційне навантаження, год/рік	8300	
Річні потреби в сировині, тис. т/рік	55	
Закупівельна ціна сировини, євро/т, з ПДВ	5	
CAPEX, EUR млн	18.93	13.77
OPEX, млн EUR/рік	4.02	6.92
Питомі операційні витрати на виробництво bio-LNG, EUR/кг	1.379	2.375
- сировина	0.094	
- логістика сировини	0.056	
- обслуговування та ремонт	1.044	2.040
- логістика bio-LNG, CO ₂ та дигестату	0.161	
- зарплата персоналу	0.025	
Ціна реалізації bio-LNG, EUR/кг, з ПДВ	2.0	
Дохід від реалізації bio-LNG, млн EUR/рік	5.8	
Ціна реалізації CO ₂ , EUR/т, з ПДВ	328	
Дохід від реалізації CO ₂ , млн євро/рік	2.2	
Ціна реалізації твердої фракції дигестату, EUR/т, з ПДВ	71.9	
Дохід від реалізації дигестату, EUR млн/рік	0.55	
Приведена вартість виробництва bio-LNG (LCOE), EUR/кг	2.02	2.63
Частка позики в CAPEX, %	60	
Строк кредитування, років	7	
Ставка кредитування в євро, %	8.5%	
Внутрішня норма прибутковості (IRR), %	18.4%	1.6%
Простий термін окупності, років	6.2	13.5

Приклад ТЕО (3): Виробництво 8 млн м³/рік біометану та 11 тис. т/рік скрапленого CO2 з агро-міксу (курячий послід, кукурудзяна солома, гній свиней, покривні культури, та інш.)



Приклад ТЕО (3): Виробництво 8 млн м³/рік біометану та 11 тис. т/рік скрапленого CO2 з агро-міксу

Споживання електричної енергії



Перелік рекомендованої літератури

1. Керівництво з аналізу здійсненності інвестиційних проектів біометану.
<https://www.regatrace.eu/work-packages/wp6-support-for-biomethane-market-uptake/>
2. Уявлення про поточну вартість виробництва біометану на основі реальних галузевих даних.
https://bip-europe.eu/wp-content/uploads/2023/10/BIP_TF4-study_Full-slidedeck_Oct2023.pdf
3. Перспективи біометану як транспортного палива в циклічній економіці, енергетичній та екологічній системі https://task37.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/32/2022/02/IEA_transport_T37_END_HIGH.pdf
4. Аналітична записка БАУ № 29 «Перспективи виробництва біометану в Україні»
<https://uabio.org/materials/13691/>
5. Крім енергії – монетизація переваг біометану всієї системи
<https://www.europeanbiogas.eu/beyond-energy-monetising-biomethanes-whole-system-benefits/>
6. Географічний аналіз потенціалу та вартості біометану в Європі в 2050 році.
https://www.engie.com/sites/default/files/assets/documents/2021-07/ENGIE_20210618_Biogas_potential_and_costs_in_2050_report_1.pdf



European Bank
for Reconstruction and Development



Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

Дякую!

Петро Кучерук



Експерт UABIO, к.т.н.



+380 97 917 70 47



kucheruk@secbiomass.com



<https://uabio.org>

